



# Tudomány és csillagászat a Tudományos Forradalom idején

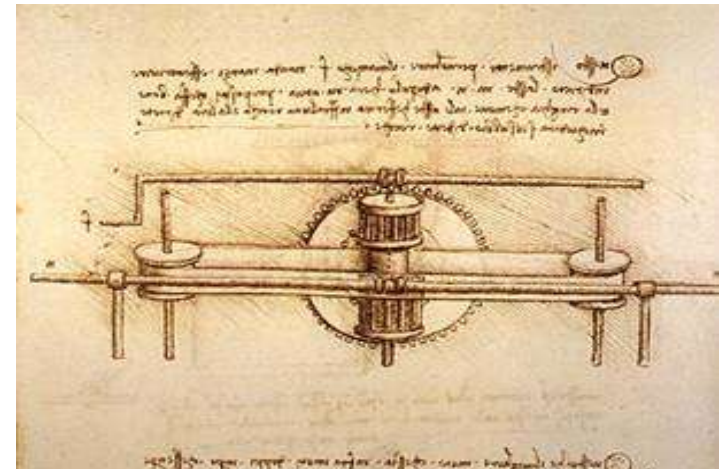
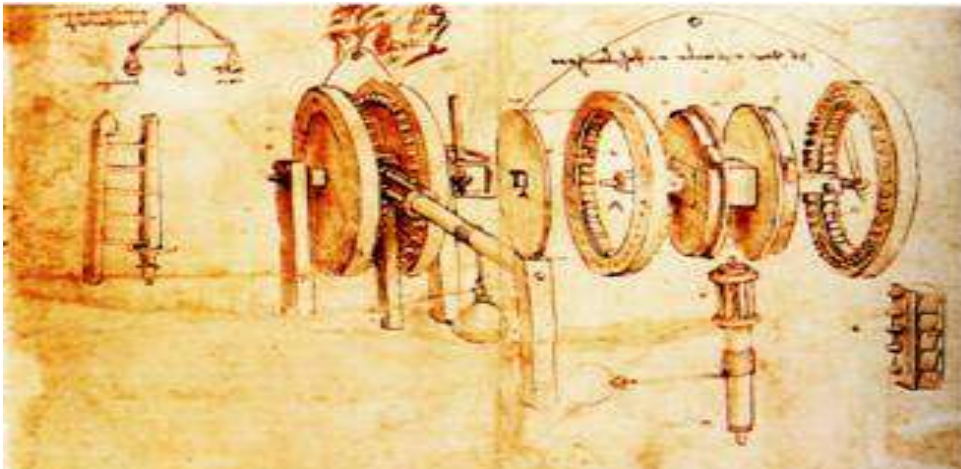
A csillagászat története 2  
**2015. március 6.**

# A tudományos forradalom

- 16-17. sz.: radikálisan új „természetfilozófia”  
⇒ kialakulnak a modern tudomány fogalmi, módszertani és intézményes alapjai
  - kezdet: 1543 (Kopernikusz *De revolutuonibus*-ának megjelenése)
  - vég: 1687 (Newton *Pricipia*-jának megjelenése)
- A fogalom első használata: Alexandre Koyré, 1939  
⇒ első könyv ezzel a címmel: A. Rupert Hall, 1954
- Korábban igen elterjedt történetírási fogalom,  
ma erősen vitatott: tényleg olyan drasztikus váltás?  
+ se a „forradalom”, se a „tudományos” nem jó fogalom
- Egy biztos: a legnagyobb „hősei” újnak látták a tevékenységüket
  - Kepler: *Nova Astronomia*
  - Bacon: *Novum Organum*
  - Galilei: *Discorsi... a due nouve scienze*
  - ...

# A matematika szerepe

- Felerősödnek hagyományosan matematikailag (is) tárgyalt, de nem standard tudományos tradíciók
- Arkhimédész, Hérón, Papposz, stb.:  
matematizált optika, sztatika, hidrosztatika, kinematika  
⇒ ezek a középkorban nem voltak ismertek  
⇔ 17. sz. elején lefordítják és tanulmányozzák őket
- Ezek esetén erős gyakorlati motiváció: gépek, szerkezetek, stb. (már az ókorban is: hidraulikus szobrok, mechanikus szerkezetek...)  
⇒ a hagyományos „töprengő” tudósmodellt fokozatosan felváltja az alkotó mesterember modellje



# A módszeres megfigyelés



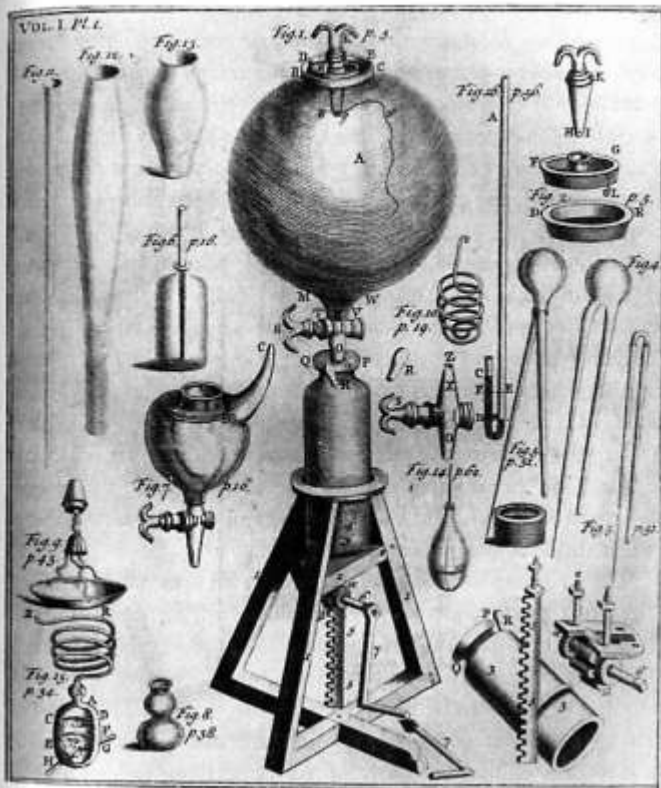
- Szaporodnak a „furcsa”, távoli vidékekről származó tapasztalatok  
→ a tapasztalatokra módszeresen, óvatosan kell szert tenni
  - Francis Bacon (1561-1626), *Novum Organum* (1620):  
a megfigyeléseket táblázatokba kell rendezni. Például:
    - A jelenlét táblázata: olyan jelenségek, amelyek jelenlétében a kérdéses jelenség is jelen van  
Pl. Hő → napfény, tüzes meteorok, égető villámok, súrlódó testek, erjedő szerves anyag, stb.
    - A hiány táblázata: olyan, az eddigiekhez hasonló jelenségek, melyeknél a kérdéses jelenség hiányzik  
Pl. csillagfény, holdfény, hideg villámok, stb.
    - A fokozat táblázata: olyan jelenségek, ahol a jelenség jelenléte fokozat kérdése  
Pl. állatok hője nő a mozgással, az üllő hője nő az ütésekkel
    - stb. stb.
- ⇒ cél: együttjárások megállapítása kizárások révén

# A természeti törvény fogalma

- A görög tudományban nincs ilyen: tipikus mintázatok vannak, nem egyetemesen és mindig ugyanúgy érvényesülő összefüggések
- A keresztény gondolkodás hajlamos Istenre törvényhozóként tekinteni  
→ 15-16. századi állatpercek: az embereket megtámadó, betegséget okozó, vagy természetellenesen viselkedő állatokat (pl. tojást rakó kakas) kivégzik, mert megsértik Isten törvényét
- René Descartes (1596-1650):
  - „felfedeztem néhány törvényt, amelyeket Isten olyanképpen állapított meg a természetben, amelyeknek olyan fogalmait véste lelkünkbe, hogy kellő megfontolás után nem tarthatjuk kétségesnek pontos érvényesülésüket mindabban, ami van vagy történik a világban.” (*Értekezés a módszerről*, V.)
  - a mechanikai viselkedés szabályait néha törvényeknek is hívja
- Newton: mindenféle megszorítás nélkül használja, az ő nyomán terjed el: egyetemesen érvényesülő szabályok (a természet képtelen megszegni), melyek matematikai formában kifejezhetők

# Kísérletezés

- Arisztotelész: passzívan megfigyelni kell a természetet, nem beavatkozni
- F. Bacon: „a természetről le kell rántani fátylát”, „kínpadra kell vonni”  
→ a tapasztalat nem „általánosan tudott”, hanem „itt és most”, egyedi körülmények között végzett megfigyelés ⇒ nem „természetes”  
→ *Experientia* (tapasztalat) és *experimentum* (kísérlet) szavak elválnak



## A légszivattyú:

- A 17. sz. közepének vitatott kísérleti eszköze
- Otto von Guericke, 1647 → Robert Boyle
- „Cáfolja” a *horror vacui* elvét
- Kedvelt bemutató-, népszerűsítő eszköz
- Úgy segíti a megismerést, hogy „erőszakot tesz” a természetten...



Wright of Derby, 1768: An Experiment on a Bird in the Air Pump

# A mechanisztikus természetfilozófia

- a 17. sz. uralkodó metaforája az óramű: apró kis alkatrészek mechanikus mozgása adja ki a rendszert
  - Kepler: „Céлом megmutatni, hogy az univerzum gépezete nem egy isteni lényhez, hanem órához hasonló.”
  - Robert Boyle: „A természeti világ „úgy, ahogy van, egy hatalmas óramű”
- Az alkotórészek megértése teszi lehetővé a rendszer megértését
  - Descartes: a vérkeringés mechanisztikus magyarázata: a szívben kis tűz ég, amely kitágítja és „elpárologtatja” a bal pitvarba érkező vért → a szív kitágul, a billentyűk kinyílnak, a vér távozik, majd lehűl → a szív összehúzódik, kinyílnak a túlsó billentyűk, belép a lehűlt vér
  - „...ha volnának olyan gépek, amelyek egy majom vagy más oktan állat szerveivel és külső alakjával bírnának, semmiképp sem tudnók felismerni, hogy nem egyeznek meg mindenben ezekkel az állatokkal.”

Az inger mechanisztikus magyarázata: hő hatására az idegpálya kitágul és nyomja az agyat

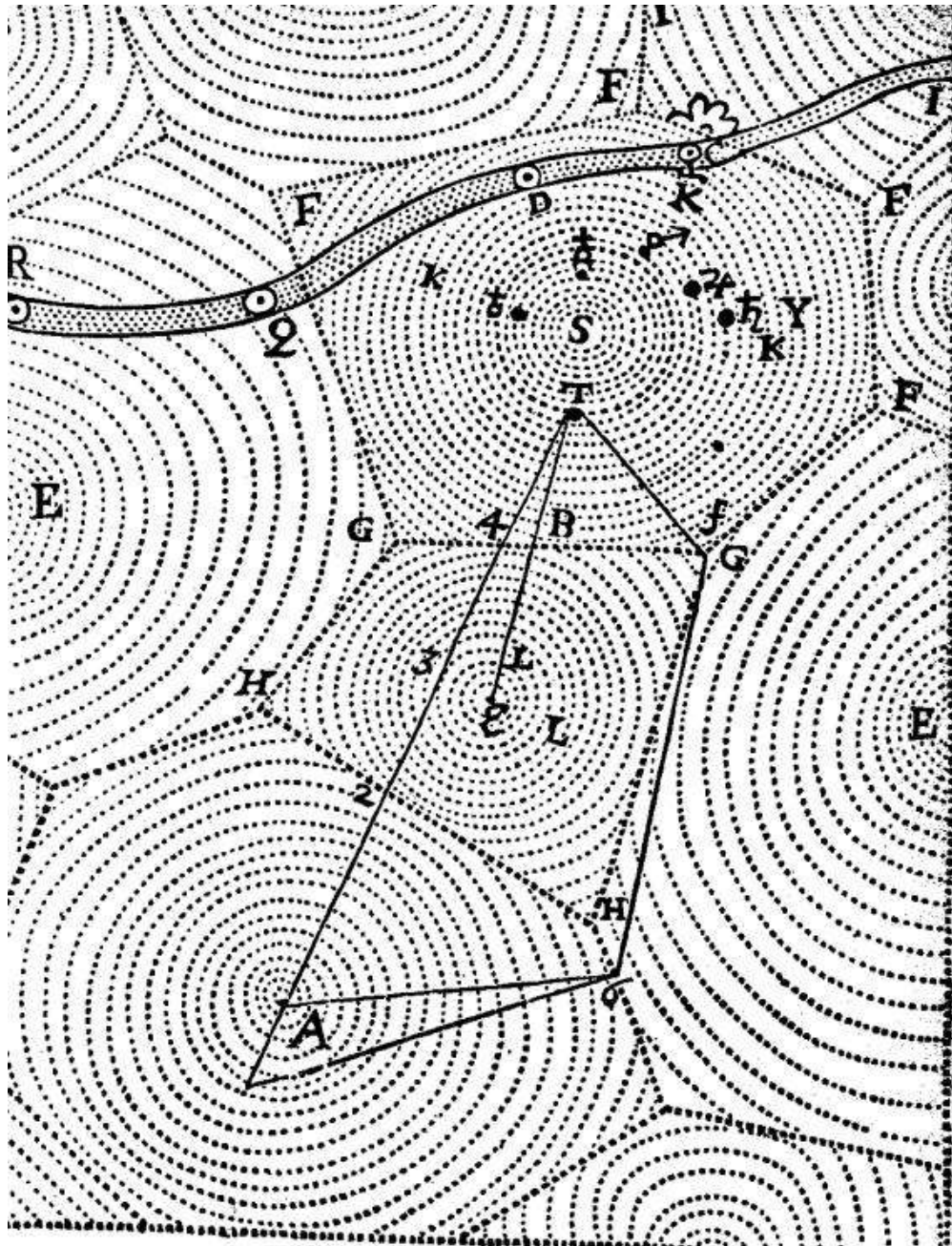




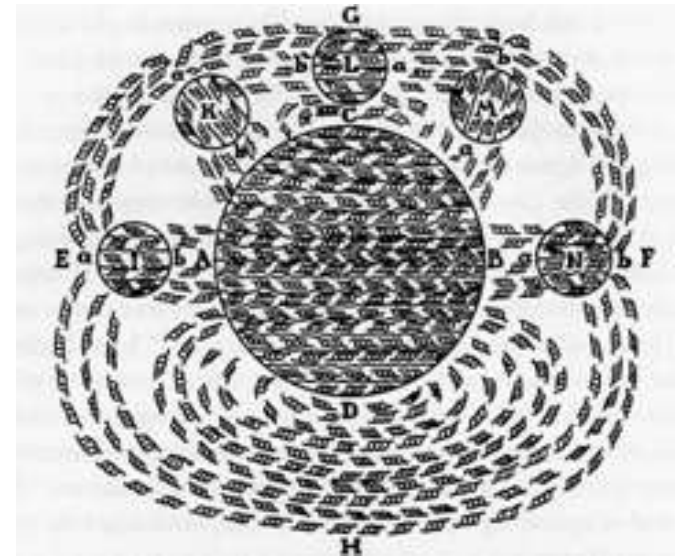
# Részecsketan (korposzkularianizmus)

- Azok az alkatrészek, melyek megértéséből kiindulunk, apró kis részecskék (nem feltétlenül „atom”, mert az feltételezi az űr létezését)
- Tulajdonságaik (alak, méret, mozgás, mennyiség) matematikailag leírhatók
- Descartes leírása
  - I. a részecskék viselkedése
    1. a részecskék önmagukban
      - egyenes vonalú mozgás
      - egyenletes mozgás (a lendület megmarad)
    2. a részecskék kölcsönhatása
      - ütközési törvények matematikai alakban (többnyire rosszul)
  - II. a rendszerek viselkedése: az ütközések közti idő tartson a nullához  
⇒ ha a részecskék egymást lökődik, és nem akarunk a lökődések sorozatával a végtelenbe menni (nem lenne kezdet, végtelen hatások), akkor a lökődések láncá előbb-utóbb magába zárul ⇒ örvények





- nem lehet űr → az egyenes vonalú mozgás során távozott anyagot pótolni kell → végső soron körmozgások
- a szomszédos örvények „összetartják” egymást (ütközésekkel)
- éterörvénnyel magyarázható:  
**Naprendszer mozgása,**  
**Hold mozgása, gravitáció,**  
 kémia, geológia, optika, stb.



# A tudomány intézményes keretei

- Hagyományosan a tudós egyénileg, „magányosan” ismeri meg a világot
- A 17. sz-ban létrejönnek a tudományos közösségek
  - Bacon, *Új Atlantisz*: „Salamon háza”: egy államilag szervezett és fenntartott kollaboratív kutató- és mérnökintézet („tudásgyár”)
  - tudás = hatalom: békét és jólétet teremt az államban
- 1657: Firenzei Kísérleti Akadémia: a Mediciek által támogatott intézmény kísérletek végzésére (Galilei követői alapítják: Viviani, Toricelli)
- 1662: az angol Királyi Társaság
  - főként angol gentleman-ek alkotják, de beférnek a híres külföldi tagok (Huygens, Cassini, Leibniz...)
  - rendszeresen kísérleteket végeznek (kísérletek kurátora: Robert Hooke)
  - eleinte magánpénzből, majd 1682-től rendszeres állami támogatás
- 1666: a francia Tudományos Akadémia
  - kezdettől fogva állami támogatás, komoly berendezések, könyvtár, stb.

# Tudományos kommunikáció

- Rendszeres összefoglalók a kutatási eredményekről:
  - 1665: *Philosophical Transactions of the Royal Society*
  - 1665: *Journal des savans*
- Ennek mintájára alakulnak az első tudományos folyóiratok
  - 1682: *Acta Eruditorum* (Leibniz)
- Könyvek, nyomdászat, ábrák, stb.: a tudományos publikáció standardizálódik
- Átalakul
  - a tudást előállítók státusza: nem teológusok és egyetemi doktorok, hanem megbízható, szavahihető polgárok, mérnökök stb.
  - a befogadók státusza: nemcsak egymásnak írnak, hanem a tudás publikus, és egy széles polgári réteg érdeklődik iránta
  - a tudás célja: nem a világ érdekmentes megismerése, hanem az emberiség fejlődésének elősegítése → azok a területek fejlődnek, ami fontos az ipar, a hadászat, a navigáció, a kereskedelem stb. számára
  - a tudás értéke: a nemzet nagyságát és fejlettségét méri

# A kor néhány prominens csillagásza

Kepler angol követői:



Jeremiah Horrocks  
(1618-1641)



William Crabtree  
(1610–1644)



William Gascoigne  
(1612-1644)



Jean-Félix Picard  
(1620-1682), fr.



Adrien Auzout  
(1622-1691), fr.



Giovanni Domenico Cassini  
(1625-1712), olasz → francia



Johannes Hevelius  
(1611-1687), lengyel?



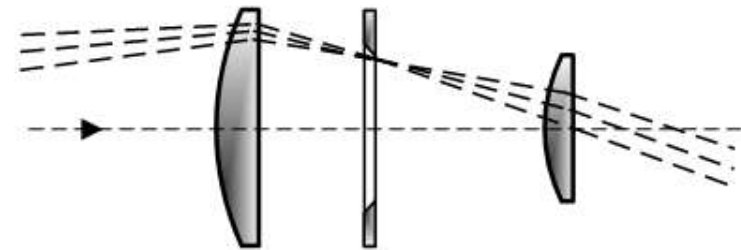
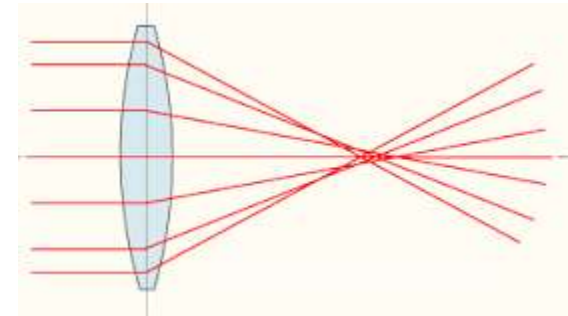
Christiaan Huygens  
(1629-1695), holland



Ole Rømer  
(1644-1710), dán

# Fejlődésben a távcső 1.

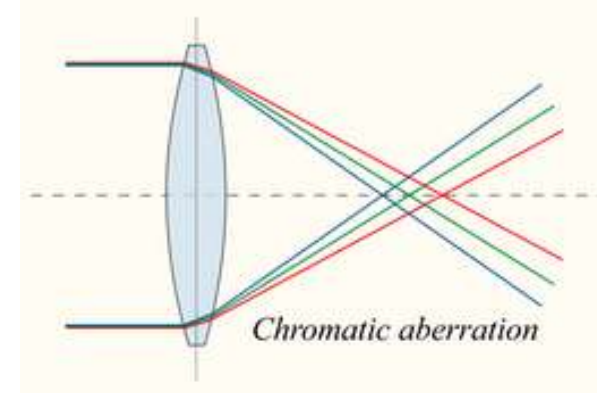
- Láttuk: a Kepler-féle konstrukció jobb csillagászati célokra, mint a Galilei-féle (elsősorban: nagyobb látómező)
  - a század első felében fokozatosan elterjed csillagászatban
  - de más célokra a Galilei-félét használják (egyenes állású kép)
- Problémák:
  - szférikus aberráció: nem egységes fókusz
    - Christiaan Huygens öccsével, Constanijn-nal saját csiszolású lencsét gyárt:  
ha a lencse egyik görbülete hatszorosa a másiknak, akkor a szférikus aberráció minimális
  - nehéz leképzés a kisebb lencsére
    - Huygens-féle okulár: két sík-domború lencse, köztük levegő  
(Ez csak hosszú fókuszu távcsövekre jó, különben torz a kép, rosszak a színek és kicsi a látómező → ma kis, olcsó távcsövekben)



– kromatikus aberráció: különböző színeket eltérő távolságokra fókuszál a lencse

→ minimalizálható, ha minél kisebb a görbület

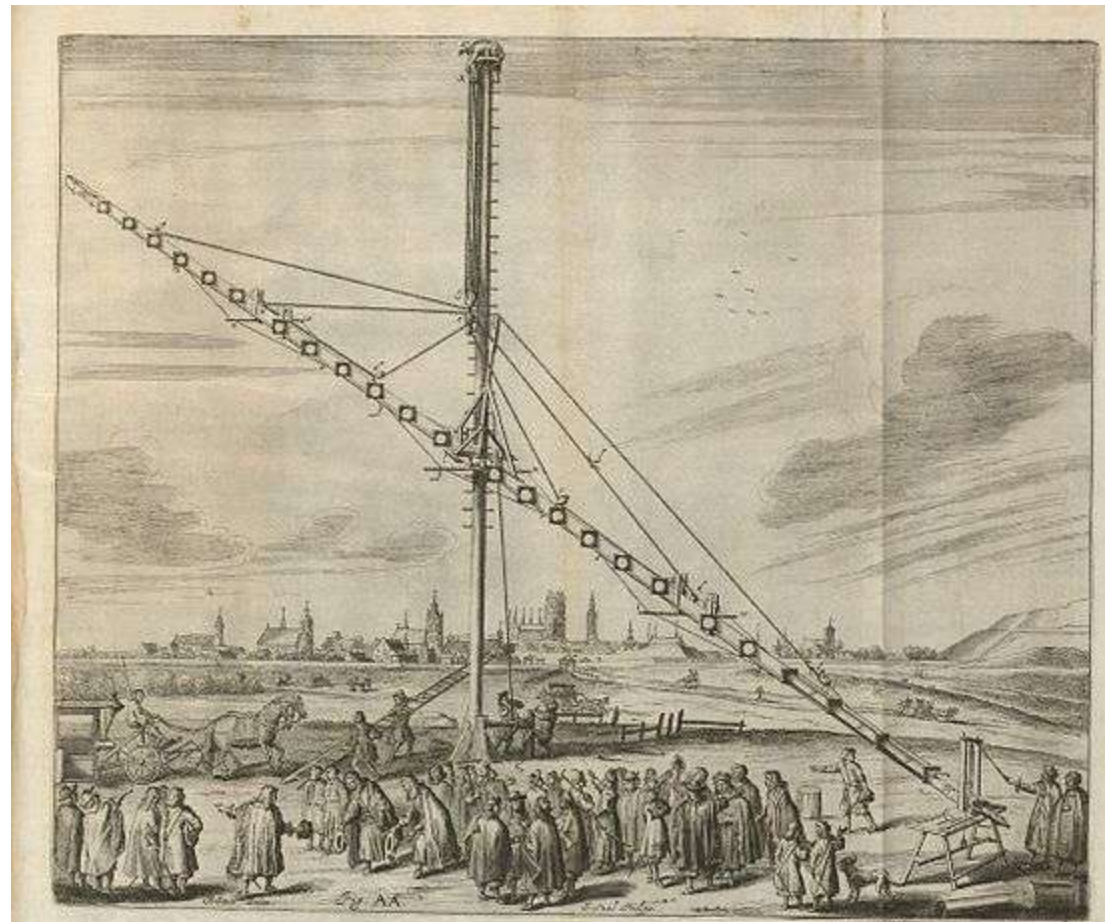
→ ehhez hosszú távcsövekre van szükség (nagy fókusztávolság)



• csöves távcsövek: Hevelius épít egy 150 láb (46 m) hosszú szörnyet:

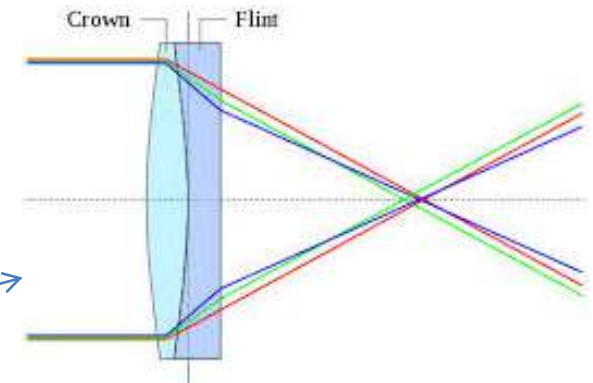
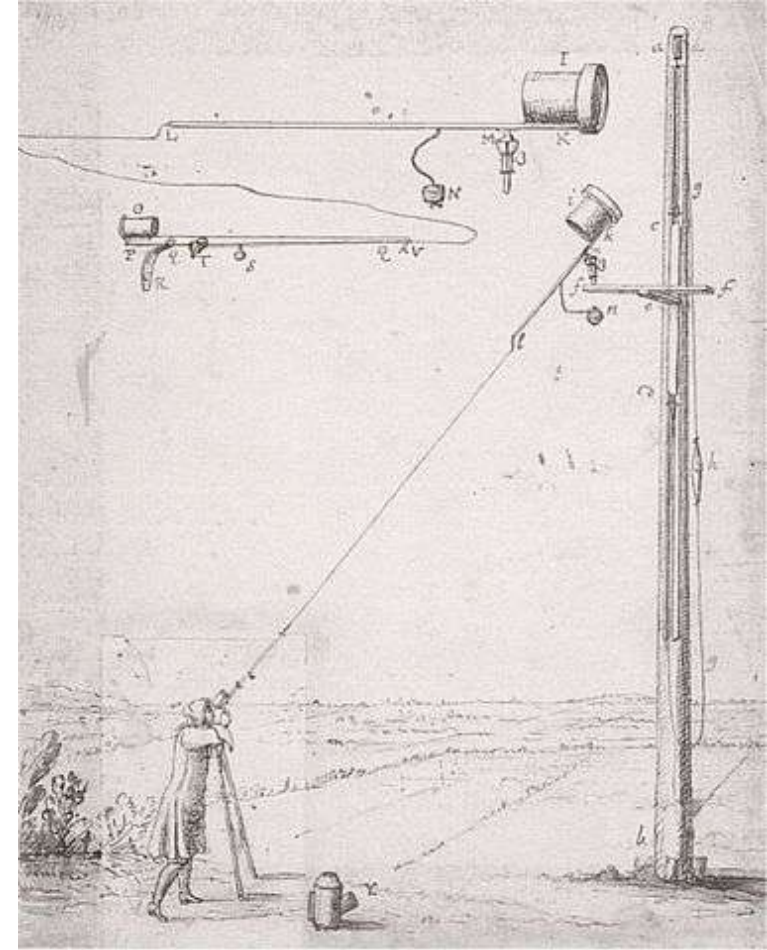
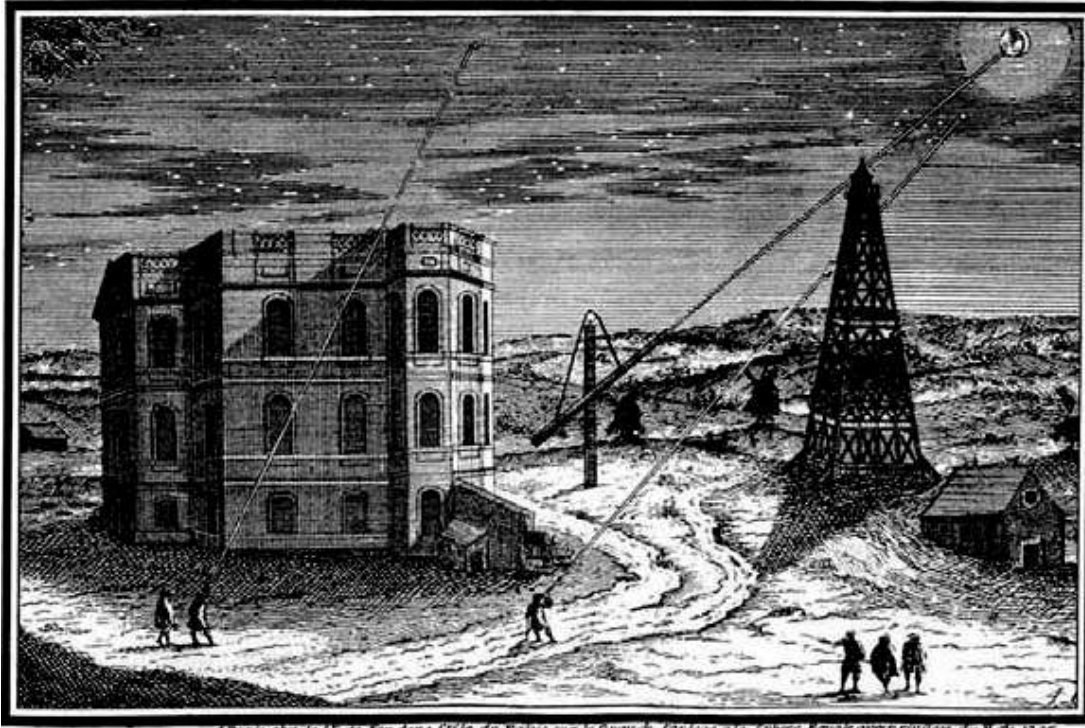
- ezek nagyon kényesek: torzulnak, rezegnek, stb.
- már nem teljesen tömör a cső: fagyűrűkből és drótokból áll

• cső nélküli (aeriális) távcsövek: nincs cső, csak a lencsék rögzítve, köztük egy fixáló fonal



## Aeriális távcsövek:

- Huygensék: először 12, majd 23 láb hosszú (→ százszoros nagyítás), később 210 lábnyi
- Ardien Auzout és társai 300-600 láb (90-180 m) hosszú verziókat építenek, külön toronnyal + A. javasolja, hogy építsenek egy 1000 láb hosszút a holdi állatok megfigyelésére

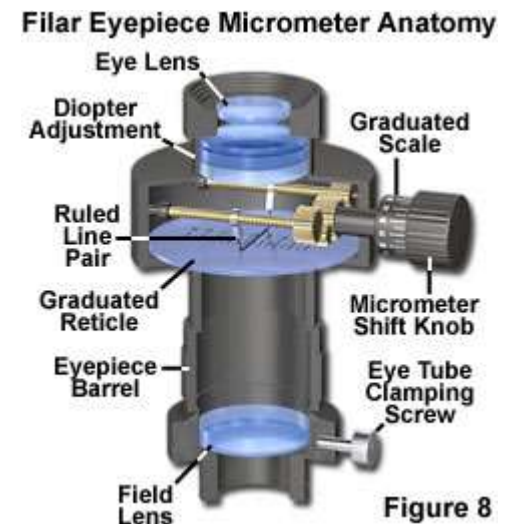
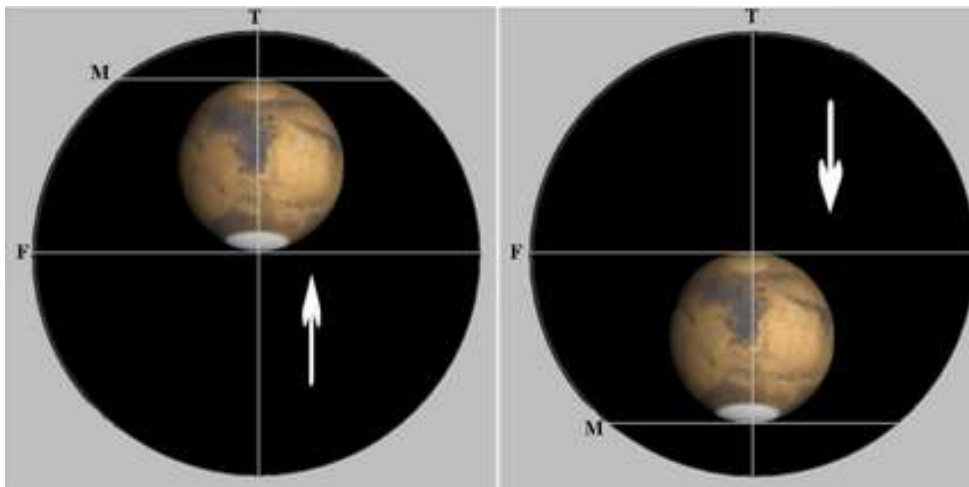


- ezeket kiváltja az akromatikus lencse (18. sz.), ill. a tükrös távcső (Newton)



## Fejlődésben a távcső 2.

- Nemcsak objektumok felnagyítására alkalmas, hanem precíziós mérésekre is
- Ehhez a felfedezés: az okulár fókuszsíkjaiba helyezett tárgyak képe éles
  - William Gascoigne, 30-as évek: egy pókháló bekerül a fókuszpontba, innen az ötlet: szálkereszt + mikrométer: csavarral pozícionálható fonál ↔ sajnos a kortársak ezt nem ismerik, így újra fel kell fedezni:
  - Huygens, 1659: bolygóátmérők mérése takaró sávok segítségével
  - Auzout, 1667: két párhuzamos szál, az egyik csavarral mozgatható
  - Jean Picard, 1667: szálkereszt továbbfejlesztése → pontosság kb. 10''

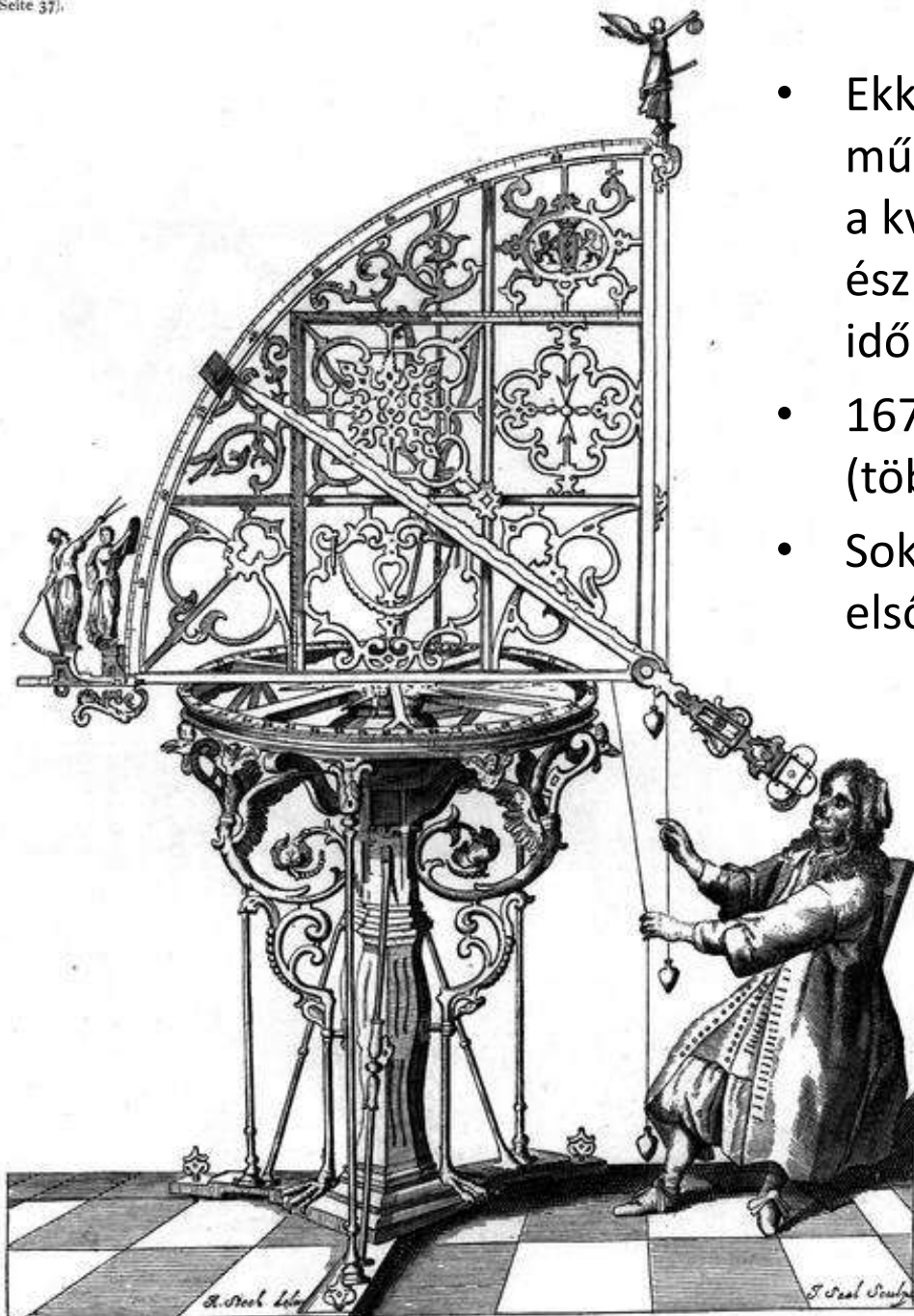


# Távcső vagy nem távcső?

Hevelius néha használt távcsövet (pl. Hold feltérképezése), de a pozíciókat szabad szemmel szerette észlelni

- 1' pontossággal tud észlelni:  
Tycho Brahét simán veri  
(kvadráns és szextáns segítségével)
- 1679-ben Gdanskba küldik  
(pl. Hooke) a fiatal Edmund Halleyt,  
hogy győzze meg Heveliuszt a  
távcső előnyeiről
- Versenyeznek, és Halley nem tud  
távcsővel pontosabban mérni,  
mint Hevelius szabad szemmel
- de ő az utolsó: később már világos,  
hogy távcső nélkül zsákutca



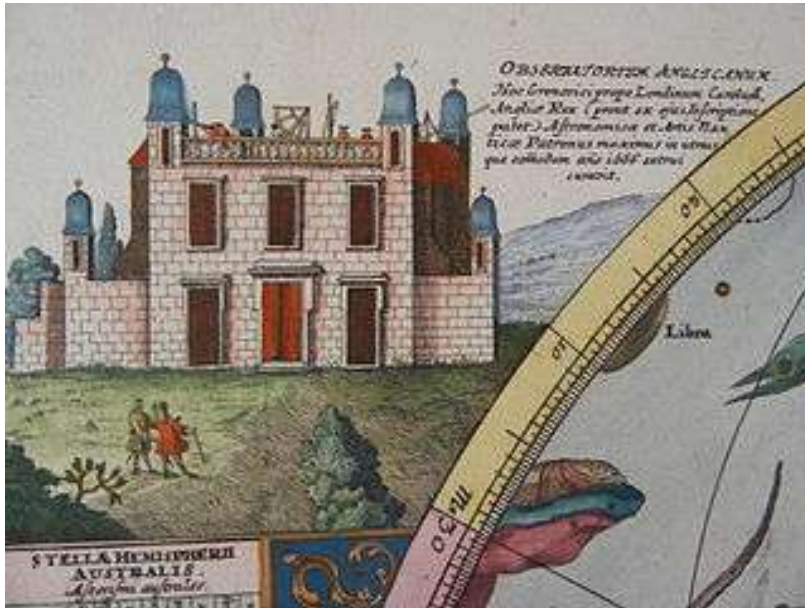


Crüger's großer Azimuthal-Quadrant, vollendet von Hevel 1644,  
nach Hevel's Machina coelestis.

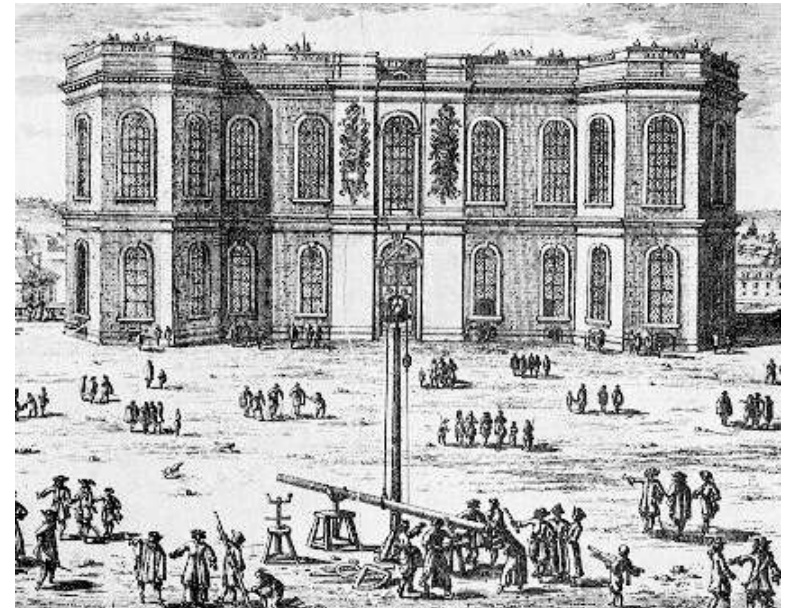
- Ekkoriban már a hagyományos műszerekre is távcsövet szereltek: pl. ezzel a kvadránszal pontosabban lehetett észlelni egy adott meridián-átvonulás időpontját és magasságát
- 1679-ben minden műszere és feljegyzése (több ezer észlelés) elégett egy tűzben
- Sokat segített neki a 2. felesége, akit az első női csillagásznak is szoktak tartani



# A legfontosabb csillagvizsgálók



- **Greenwich, 1676**
- az első királyi csillagász: Flamsteed
- 7 lábnyi szextáns és falikvadráns, távcsövekkel felszerelve, pontos és kiterjedt észlelések, stb.
- (a greenwichi délkör csak a 19. században válik etalonná, addig Párizst stb. használják)



- **Párizs, 1671**
- az első igazgató: Cassini
- Jean Picard, Adrien Auzout, Ole Rømer, Christiaan Huygens kötődnek hozzá
- Itt is: adatgyűjtés (pontos meridián-átvonulások), táblázatok, hajózási almanach, stb.

# A csillagok

- Hevelius
  - elkészíti 1564 csillag pontos katalógusát (1687)
  - Ugyanő összeállít egy csillagkép-atlaszt
    - 10 új csillagképet vezet be a halványabb területekre, ebből 7 ma is él: Gyík, Hiúz, Kis Oroszlán, Kis Róka, Pajzs, Szextáns, Vadászebek
- Aztán majd John Flamsteed mérései alapján 1725-ben megjelenik egy 3000 csillagot tartalmazó katalógus + csillagtérképek
- 1676: E. Halley felmér 350 csillagot a déli égboltról (Szt. Helena szigete)
- Huygens *Cosmotheoros* c. művében (1698, posztumusz) kijelenti, hogy a csillagok végtelen térben vannak szétszórva
  - Méretük becslése: lyukas papírral takarja ki a Napot
    - ami pont olyan fényes, mint a Sirius, az éppen akkora átmérőjű
    - a Sirius kb. 30000-szer messzebb van, mint a Nap
- A változócsillagok (ami nem szupernóva) + kettőscsillagok első felismerése
  - pl. Hevelius: P Cygni és Mira Ceti észlelései; Huygens: kettősök
- (Jean Picard: bevezeti a rektaszcenzió-koordinátát a hosszúság helyett
  - a meridián-átvonulás időpontja szinte közvetlenül megadja ezt)



Képek Hevelius atlaszából



# Hold

- Hevelius, 1647: *Selenographia* („Holdrajz”) → pontos térkép
  - földi neveket adott, ebből kevés maradt meg később (Alpok, Appenninek, Kaukázus)
- Giovanni Battista Riccioli, 1651: „Új Almagest” → új nevezéktan: a hegyek híres tudósokról, a „tengerek” elvont és mitológiai forrásból → ez marad fenn
- Mozgása: a Kepler-féle leírás elég pontatlan
  - sok új születik (díjakat is tűznek ki a megoldására: navigációhoz kellene)
    - a legpontosabb (2') Jeremiah Horrocks megoldása:
      - erre is általánosítja az ellipszis-pályát (Kepler nem)
      - de változó pályaelemek: a nagytengely iránya és az excentricitás oszcillál
      - ezt a Nap hatásának tulajdonítja, mert azzal összhangban van
        - előfutára a gravitációs távolhatás fogalmának (Pl. erre vezet vissza a Jupiter és a Szaturnusz mozgásának szabálytalanságait is: hatnak egymásra)





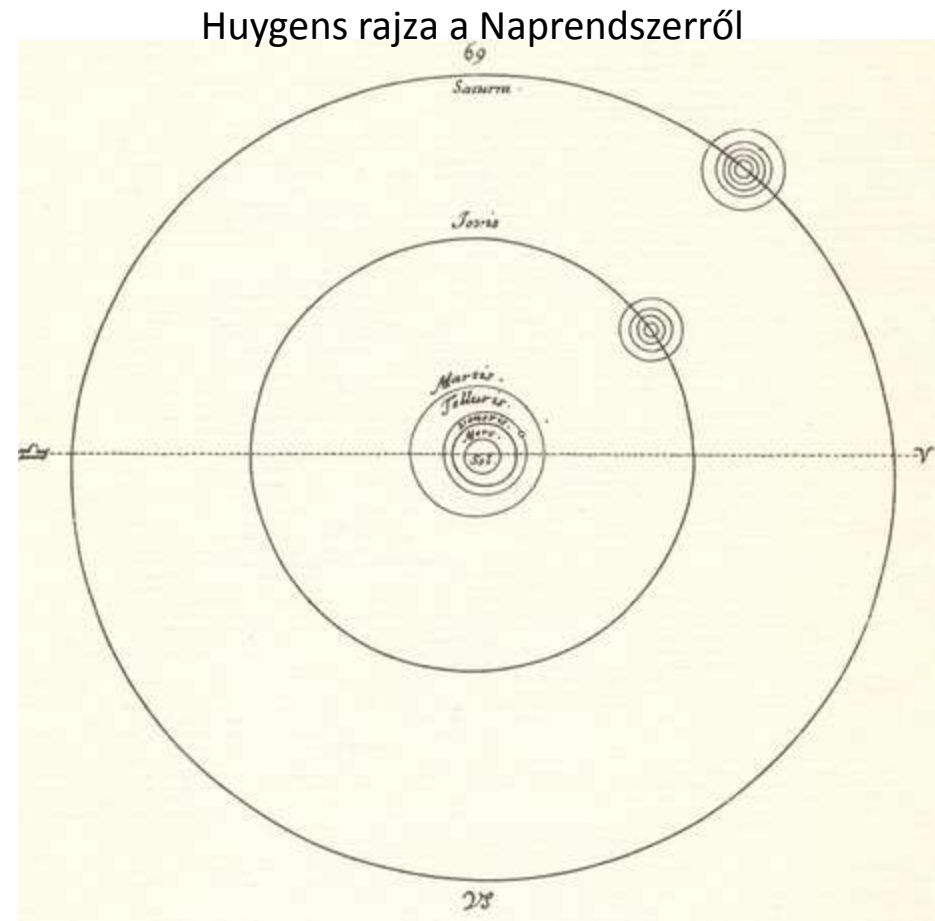
Hevelius rajza a Holdról



Riccioli rajza a Holdról

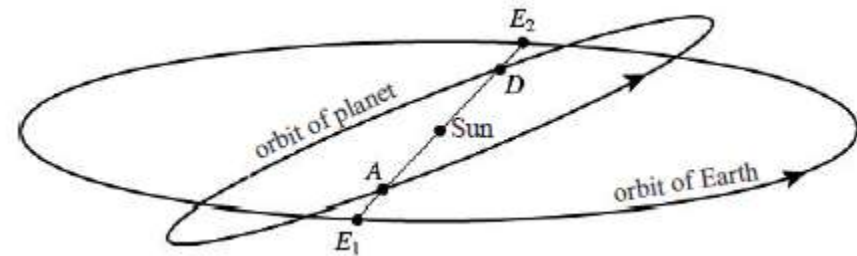
# Bolygók 1.

- További holdak a Naprendszerben:
  - Huygens, 1655: Titán (Szaturnusz)
  - u.ő, 1671-1684: 4 további Szaturnusz-hold (Iapetus, Rhea, Dione, Thetis)
- Bolygók egyenetlenségei:
  - Huygens, Cassini: foltok a Jupiteren és a Marson
    - Pl. Nagy Vörös Folt:  
Cassini és Robert Hooke (1665)
  - ez alapján: a bolygók forognak ( $P_J = 9\text{h}56\text{m}$ ,  $P_M = 24\text{h}40\text{m}$ )
    - Cassini: differenciális rotáció
    - (1630, Scheiner: u.ez a Napra)
  - u.ő: a Iapetus fénye korrelál keringésével ( $\rightarrow$ kötött?)
- Huygens: Szaturnusz-gyűrűk „titka” (1659: *Systema Saturnium*)
- Cassini-rés a Szaturnusz gyűrűjében

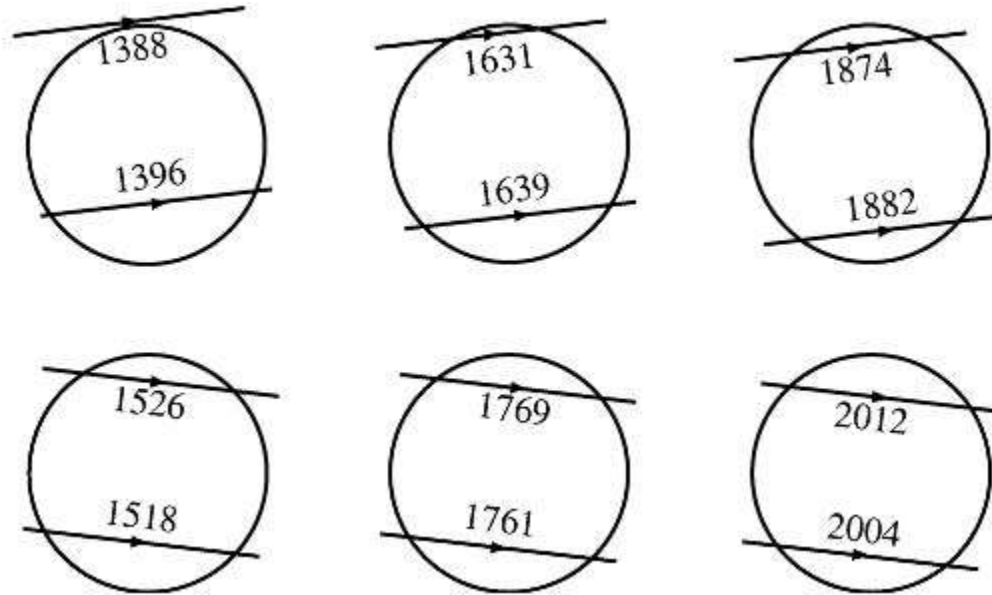


# Bolygók 2: Átvonulások a Nap előtt

- Bekövetkezik, ha egy belső bolygó éppen egy síkban és egy vonalban van a Földdel és a Nappal
- Kepler megjósol adatai alapján egy Merkúr-átvonulást 1631-ben  
→ többen észlelik
  - igazolja a Rudolf-táblák pontosságát  
„De különösen a Merkúr bolygó bizonyítja, amely 1631 okt. 28-án, majd 1651 okt. 23-án és 1661 ápr. 23-án bekerült a látásunk és a Nap valamely része közé, hogy a kopernikuszi hipotézisből fakadó kepleri táblázatok felelnek meg a legjobban az igazságnak, míg a tychoi rendszerre épülő, Longomontanus és Argolus-féle táblázatok több napnyi tévedést tartalmaznak.” (Vincent Wing, 1669)
  - tovább lehet pontosítani a pályaadatokat
  - pontosan lehet mérni a bolygó látszó átmérőjét
    - Gassendi: 20'' (ez Tycho becsléséhez képest (2' 10'') nagyon kicsi)
    - Hevelius, 1661-es átvonulás: ennél is kisebb



- Vénusz-átvonulás: nagyon ritka (eddig hetet észleltek: 1639, 1761, 1769, 1784, 1782, 2004, 2012)
- 1631: Kepler bizonytalanul előrejelzi, de téved, mert csak Amerikából lenne látható
- 1639: ezt viszont K. nem várná (szerinte elsuhan a Nap alatt), de angol hívei résen vannak



- J. Horrocks a Tycho alapján pontosított kepleri paraméterekkel számol
- csak ketten észlelik: ő és barátja, William Crabtree
- mérete:  $1' 16'' \rightarrow$  ez is kb. tízszer kisebb, mint a korban gondolják (Crabtree:  $1' 3'' \rightarrow$  az még pontosabb:  $1''$ -en belül)
- ez alapján + geometriai megfontolásokkal pontosítja a Nap-Föld távolságot (bár még ez is túl kicsi: 97 mill. km a 150 mill. helyett)
- (a későbbi tranzitok is mindig várva várt események, amikor lehetőség adódik a Naprendszer méreteinek egyre pontosabb újrakalibrálására)

✦ CRABTREE WATCHING THE TRANSIT OF VENUS · A · D · 1659 ✦



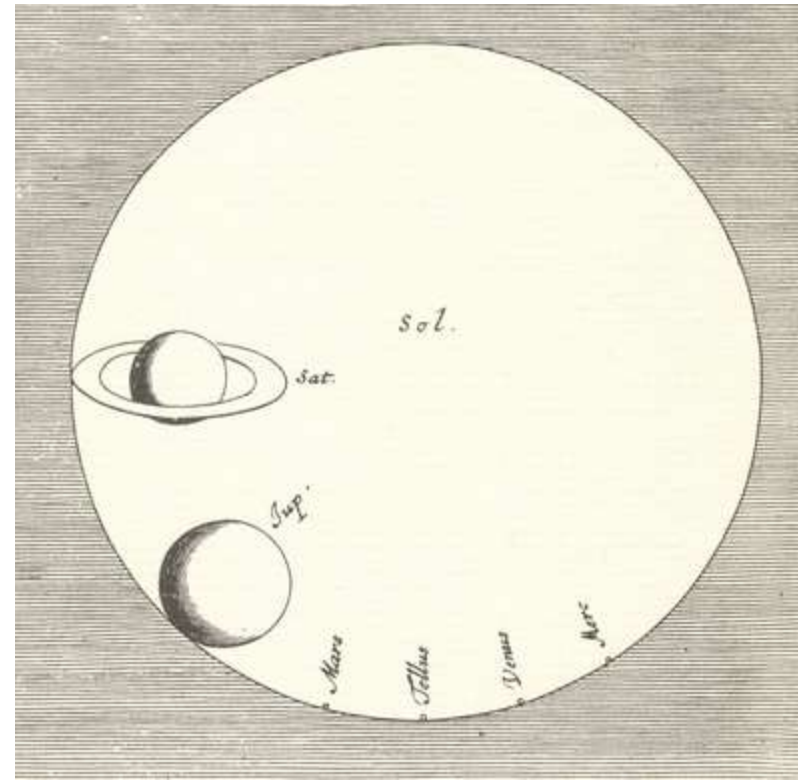
- ez az egyik első helioszkóp: a távcsőből kilépő képet papírlapra vetítik
- a fenti észlelés feltehetőleg innen történt →



## (Kitérő: A bolygók mérete)

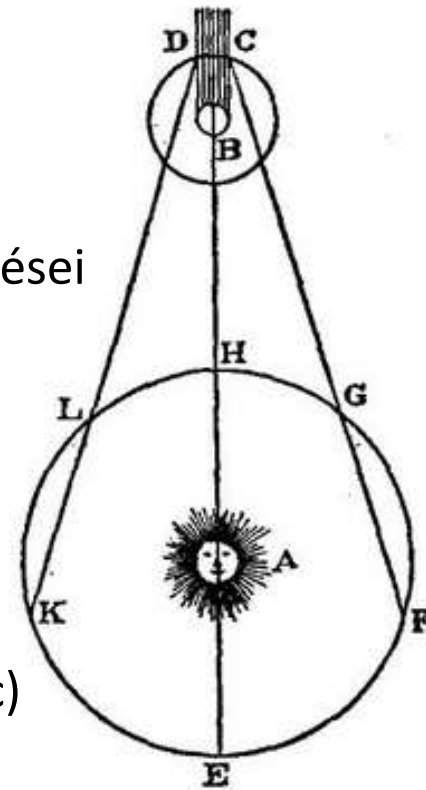
- Kepler: a harmonikus elvei szerint azt várta, hogy a méret valahogyan arányos a Naptól mért távolsággal
- Horrocks: ez (és a mérés) alapján feltételezi, hogy minden bolygó ugyanakkorának látszik a Napról (28"), vagyis „a bolygók Naptól mért távolsága a méretük tizenötezer-szerese”
- hamarosan kiderül, hogy nincs ilyen összefüggés: mindnek saját, rá jellemző mérete van
- fokozatosan egyre pontosabbá válnak a Naprendszer méreteire vonatkozó mérések és számítások

Huygens szerint a bolygók méretei, a Naphoz viszonyítva



## Bolygók 3: A Jupiter-holdak

- fogyatkozások (holdak a bolygó árnyékában) rendszeres észlelései (pl. Giovanni Alfonso Borelli (1665) és Cassini (1668))
  - Ez a földpálya F és G, ill. L és K pontjai között lehetséges:
- Ole Rømer, 1670-es évek: az Iót figyeli: gyakori fogyatkozások ( $p = 42,5h$ )
  - megfigyelés: amikor közeledik a Földhöz, rövidebbek a periódusok, amikor távolodik, hosszabbak (kb.  $\pm 10$  perc)
  - magyarázat: a fénynek idő kell, hogy ideérjen
    - **véges a fénysebesség**
  - becslése: a fény 11 perc alatt ér ide a Napról (valójában kb. 8,5 perc)
  - többen megismétlik a mérést (Huygens, Newton, Bradley...)
  - a fény véges sebességét majd 1727 után (Bradley és az aberráció) fogadják el széles körben
- (Ha már Rømer: Koppenhága első közvilágítása, az első dán mértékegységek rögzítése, az egyik első hőmérséklet-skála, a Gergely-naptár ottani bevezetése, ...)



# Egyebek

- Nap:
  - sok észlelés napfoltokról (helioszkóp)
  - napfáklyák felfedezése
- Üstökösök: Hevelius két művet is ír róluk (*Prodromus Cometicus* (1654), *Cometographa* (1668)), négy üstököst felfedez (1652, 1661, 1672, 1677)
  - többen felvetik, hogy ezek parabola vagy ellipszis pályán mozognak
- Csillagködök: többet leírnak (Hevelius, Huygens), az utóbbi elsőként lerajzolja az Orion-ködöt
- nappali észlelések
  - Jean-Baptiste Morin, 1634: a Vénuszt követi sok órán át a napkelte után
  - Picard, 1669: az Arcturus meridiánátvonulását észleli nappal
- Cassini: az állatövi fény helyes magyarázata (légköri poron szóródó fény)



# Földönkívüli élet

- G. Bruno: miért is ne? Kepler, *Álom*: a Hold népeit írja le
- szaporodnak a hasonlóságok a Föld és a bolygók közt (felhők, forgás...)
- Huygens, *Cosmotheoros*: az élet feltételeit keresi más bolygókon:

„Aligha lehetséges, hogy Kopernikusz követői néha ne képzeljék azt, hogy nem tűnik ésszerűtlennek a feltevés: glóbuszunkhoz hasonlóan a többi bolygó sem mentes a vegetációtól és a díszítéstől, és talán a lakóktól sem.”

- vizet keres mindenütt: szerinte ez az alapfeltétel
- más életek: olyan messze vannak, hogy nem lenne szabadna tudniuk egymásról, de az emberek túljártak Isten eszén
- Bernard Le Bovier de Fontenelle, 1686: *Beszélgetések a világok sokaságáról*
  - nagyon népszerű, ismeretterjesztő mű a kor kozmológiájáról
  - ha van értelmes élet más bolygókon, teológiai problémák lépnek fel: Ők is Ádámtól származnak-e? Megváltotta-e őket is Krisztus?  
Megoldás: ők nem emberek.